

Brennkraftmaschine mit Abgasreinigungsanlage und Verfahren  
zur Reinigung des Abgases einer Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine mit einer Abgasreinigungsanlage gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren zur Reinigung des Abgases einer Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 10.

Aus der Offenlegungsschrift DE 101 13 947 A1 ist eine Abgasreinigungsanlage für eine Brennkraftmaschine mit einem Stickoxid-Speicherkatalysator bekannt, bei welcher in Regenerationsphasen des Stickoxid-Speicherkatalysators von diesem Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) abgegeben wird, welches zur Entfernung von Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) in einem in Strömungsrichtung nachgeschalteten SCR-Katalysator genutzt wird. In dem entsprechenden Abgasreinigungsverfahren wird dem Abgas bei einem mageren Betrieb der Brennkraftmaschine  $\text{NO}_x$  durch Einlagerung in das Katalysatormaterial des Stickoxid-Speicherkatalysators entzogen. Nach Sättigung wird der Stickoxid-Speicherkatalysator bei einem fetten Motorbetrieb regeneriert. Gemäß der DE 101 13 947 A1 wird bei dieser Regeneration dem Stickoxid-Speicherkatalysator in einer ersten Phase ein vergleichsweise stark mit Reduktionsmitteln angereichertes Abgas zugeführt. In einer zweiten Phase der Regeneration wird dem Stickoxid-Speicherkatalysator dagegen ein weniger stark reduktionsmittelhaltiges Abgas zugeführt. Dabei wird im Katalysatormaterial des Stickoxid-Speicherkatalysators eingelagertes  $\text{NO}_x$  unter Bil-

derung von  $\text{NH}_3$  reduziert, welches dem nachgeschalteten SCR-Katalysator zugeführt und in diesem eingelagert wird. In der auf die Regeneration folgenden mageren Betriebsphase kann durch den Stickoxid-Speicher-katalysator durchtretendes  $\text{NO}_x$  im SCR-Katalysator selektiv reduziert werden. Dabei dient das im SCR-Katalysator zuvor eingelagerte  $\text{NH}_3$  als selektiv wirkendes Reduktionsmittel. Auf diese Weise ergänzen sich die stickoxidvermindernden Eigenschaften des Stickoxid-Speicher-katalysators und des SCR-Katalysators. Für eine hohe  $\text{NO}_x$ -Verminderung ist jedoch die ausreichende Versorgung des SCR-Katalysators mit  $\text{NH}_3$  von Bedeutung.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Brennkraftmaschine mit einer Abgasreinigungsanlage sowie ein Verfahren zur Reinigung des Abgases einer Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art anzugeben, bei welchen insgesamt eine möglichst hohe Stickoxidreinigungswirkung erzielt wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Brennkraftmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst.

Die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine weist eine Abgasreinigungsanlage mit einem Stickoxid-Speicher-katalysator und einen dem Stickoxid-Speicher-katalysator nachgeschalteten SCR-Katalysator auf, wobei dem Stickoxid-Speicher-katalysator in einem ersten Betriebsmodus Abgas mit einem Überschuss an oxidierenden Bestandteilen und in einem zweiten Betriebsmodus Abgas mit einem Überschuss an reduzierenden Bestandteilen zuführbar ist. Erfindungsgemäß ist ein dritter Betriebsmodus zeitlich nach dem ersten Betriebsmodus und vor dem zweiten Betriebsmodus vorgesehen, in welchem dem Stickoxid-Speicher-katalysator ein Abgas zuführbar ist, welches gegenüber dem ersten Betriebsmodus einen geringeren Gehalt an oxidierenden

Bestandteilen aufweist und gegenüber dem zweiten Betriebsmodus einen geringeren Gehalt an reduzierenden Bestandteilen aufweist.

Bekanntlich erfordert die chemische Reduktion von  $\text{NO}_x$  zu  $\text{NH}_3$  eine chemisch reduzierend wirkende Umgebung. Wie sich überraschend gezeigt hat, beeinträchtigen dabei jedoch bereits vergleichsweise geringe Restmengen an oxidierenden Bestandteilen und insbesondere an Sauerstoff auch bei vergleichsweise stark reduzierenden Verhältnissen nachhaltig den Wirkungsgrad der  $\text{NH}_3$ -Bildung. Da als Stickoxid-Speicherkatalysator entweder ein mit Kanälen durchzogener Wabenkörper oder eine Schüttung von Formkörpern eingesetzt wird, tritt in den durch diese Katalysatorstrukturen gebildeten Hohlräumen bei einem sprunghaften Wechsel der Abgaszusammensetzung von oxidierend zu reduzierend eine Vermischung der unterschiedlich zusammengesetzten Abgase ein. Daraus resultieren kurzzeitig vergleichsweise heftige Reaktionen, wobei die Reduktion von im Katalysatormaterial eingelagertem  $\text{NO}_x$  zu  $\text{NH}_3$  wegen des noch vorhandenen Sauerstoffs behindert ist. Stattdessen kann es sogar zu einer schlagartigen Freisetzung von  $\text{NO}_x$  kommen, welches ohne Reduktion als sogenannter  $\text{NO}_x$ -Durchbruch den Stickoxid-Speicherkatalysator verlässt. Dies verschlechtert die Reinigungswirkung der Abgasreinigungsanlage. Umgekehrt ist es wünschenswert, dass insbesondere zu Beginn der Nitratregeneration, wenn im Katalysatormaterial des Stickoxid-Speicherkatalysators noch verhältnismäßig große  $\text{NO}_x$ -Mengen gespeichert sind, eine wirksame  $\text{NO}_x$ -Reduktion mit hoher  $\text{NH}_3$ -Bildung erfolgt. Dies wird erreicht, indem zeitlich nach dem ersten Betriebsmodus und vor dem zweiten Betriebsmodus ein dritter Betriebsmodus eingestellt wird, bei welchem dem Stickoxid-Speicherkatalysator ein Abgas zugeführt wird, dessen Sauerstoffgehalt im Vergleich zum ersten Betriebsmodus verringert

ist und dessen Reduktionsmittelgehalt im Vergleich zum zweiten Betriebsmodus ebenfalls verringert ist.

Im dritten Betriebsmodus wird das in den Hohlräumen des Katalysatorkörpers vorhandene Gas des ersten Betriebsmodus durch ein Gas ersetzt, welches gegenüber dem ersten Betriebsmodus und dem zweiten Betriebsmodus einen geringeren Gehalt an reaktionsfreudigen Bestandteilen aufweist. Damit werden die oben genannten unerwünschten Effekte vermieden und im Stickoxid-Speicherkatalysator Bedingungen geschaffen, welche die  $\text{NH}_3$ -Bildung im nachfolgenden zweiten Betriebsmodus verbessern. Der dem Stickoxid-Speicherkatalysator nachgeschaltete SCR-Katalysator kann daher mit einer vergleichsweise großen  $\text{NH}_3$ -Menge versorgt werden, was dessen Wirksamkeit entsprechend verbessert. Insbesondere wird im dritten Betriebsmodus der Sauerstoffgehalt des im Stickoxid-Speicherkatalysator vorhandenen Abgases herabgesetzt und dadurch die  $\text{NH}_3$ -Ausbeute bei der  $\text{NO}_x$ -Reduktion im Speicherkatalysator verbessert.

Die Einstellung der Abgaszusammensetzung in den einzelnen Betriebsmodi kann dabei von der Brennkraftmaschine vorgenommen werden, welche als Dieselmotor oder als Ottomotor ausgeführt sein kann und über geeignete Steuereinrichtungen verfügt, die entsprechende Brennkraftmaschinenbetriebsarten ermöglichen. Die Einstellung der Abgaszusammensetzung kann jedoch auch maßgeblich in wenigstens einem der Betriebsmodi durch eine gasliefernde Zusatzeinrichtung geleistet oder unterstützt werden.

In Ausgestaltung der Erfindung ist der Stickoxid-Speicherkatalysator als Anordnung aus einem ersten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement und einem dem ersten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement strömungsmäßig parallel geschalteten zweiten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement ausgebildet. Damit

besteht die Möglichkeit, die beiden Stickoxid-Speicher-katalysatorelemente getrennt anzusteuern und zeitversetzt in den einzelnen Betriebsmodi zu betreiben. Damit kann ebenfalls die Versorgung des den Stickoxid-Speicher-katalysatorelementen nachgeschalteten SCR-Katalysators mit  $\text{NH}_3$  verbessert werden. Die getrennte Ansteuerung der Stickoxid-Speicher-katalysatorelemente kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass diese an unterschiedliche Zylinder der Brennkraftmaschine anschließbar sind, und die Zylinder mit unterschiedlichen Luft-Kraftstoffgemischen betrieben werden.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung sind das erste Stickoxid-Speicher-katalysatorelement und das zweite Stickoxid-Speicher-katalysatorelement wechselweise entweder im ersten Betriebsmodus oder im zweiten und dritten Betriebsmodus betreibbar. Somit wird beispielsweise das erste Stickoxid-Speicher-katalysatorelement mit oxidierendem Abgas mager betriebener Zylinder beaufschlagt, während das zweite Stickoxid-Speicher-katalysatorelement im dritten oder im zweiten Betriebsmodus betrieben und dabei mit sauerstoffarmem oder reduzierendem Abgas beaufschlagt wird.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist eine Schaltvorrichtung derart vorgesehen, dass das im zweiten Betriebsmodus und/oder im dritten Betriebsmodus betriebene Stickoxid-Speicher-katalysatorelement wenigstens teilweise von dem von der Brennkraftmaschine abgegebenen Abgasstrom abtrennbar ist. Damit kann der Abgasstrom durch das im zweiten Betriebsmodus und/oder im dritten Betriebsmodus betriebene Stickoxid-Speicher-katalysatorelement mehr oder weniger stark vermindert werden, was den Wechsel der Abgaszusammensetzung im Stickoxid-Speicher-katalysatorelement erleichtert, weil eine geringere Gasmenge hiervon betroffen ist. Die Schaltvorrichtung kann hierbei beispielsweise als eine den Abgasstrom umlen-

kende Abgasklappe ausgebildet sein, welche den Stickoxid-Speicherkatalysatorelementen vorgeschaltet ist.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist eine Gasliefer-einrichtung derart vorgesehen, dass der im zweiten Betriebsmodus und/oder im dritten Betriebsmodus betriebene Stickoxid-Speicherkatalysator von einem von der Gasliefer-einrichtung gelieferten Gasstrom beaufschlagbar ist. Mit dieser erfindungsgemäßen Ausgestaltung kann für den im dritten und/oder im zweiten Betriebsmodus betriebenen Stickoxid-Speicherkatalysator die Abreicherung des Abgases mit Sauerstoff bzw. die Anreicherung des Abgases mit Reduktionsmittel wenigstens teilweise durch die Gasliefer-einrichtung vorgenommen werden. Somit kann der Wechsel des Brennkraftmaschinenbetriebs moderater ausfallen.

Als Gasliefer-einrichtung kann ein einzelner oder mehrere zusammengefasste Zylinder der Brennkraftmaschine oder eine externe Einheit vorgesehen sein. Der zweitgenannte Fall ist insbesondere bei einer Parallelschaltung von zwei Stickoxid-Speicherkatalysatorelementen von Vorteil, wenn das vom Gaswechsel betroffene Stickoxid-Speicherkatalysatorelement ganz oder teilweise vom Hauptabgasstrom der Brennkraftmaschine abtrennbar ist. Gegebenenfalls kann dann auf einen Wechsel des Brennkraftmaschinenbetriebs ganz verzichtet werden und die Brennkraftmaschine durchgehend mager betrieben werden. Die Änderung der Gaszusammensetzung im dritten bzw. im zweiten Betriebsmodus gegenüber dem ersten Betriebsmodus wird dann ausschließlich von der Gasliefer-einheit vorgenommen.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist von der Gasliefer-einrichtung ein sauerstoffarmer Gasstrom lieferbar. Vorzugsweise ermöglicht es die Gasliefer-einrichtung, ein sauerstoffarmes Gas mit unterschiedlichem Reduktionsmittelgehalt

zu liefern. Somit wird die Sauerstoff-Abreicherung des Abgases, welches durch den im dritten Betriebsmodus betriebenen Stickoxid-Speicherkatalysator strömt, überwiegend oder ganz von der Gaslieferereinrichtung durchgeführt. Analog kann die Reduktionsmittel-Anreicherung des Abgases im zweiten Betriebsmodus ebenfalls von der Gaslieferereinrichtung vorgenommen werden.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist die Gaslieferereinrichtung als Kraftstoffreformer oder als Brenner ausgebildet. Vorzugsweise wird der Kraftstoffreformer oder der Brenner mit dem Kraftstoff der Brennkraftmaschine betrieben. Die in der Gaslieferereinheit vorgenommene Kraftstoffaufbereitung kann dabei katalytisch unterstützt sein.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist dem Stickoxid-Speicherkatalysator ein oxidationskatalytisch wirksames Katalysatorelement vorgeschaltet. Als solches ist beispielsweise ein Oxidationskatalysator oder ein Drei-Wege-Katalysator geeignet. Das oxidationskatalytisch wirksame Katalysatorelement katalysiert die Reaktion von Reduktionsmitteln mit Sauerstoff, so dass ein Überschuss von Sauerstoff oder Reduktionsmitteln im Abgas vermindert werden kann. Durch diese erfindungsgemäße Ausgestaltung wird somit erreicht, dass der Stickoxid-Speicherkatalysator im dritten Betriebsmodus ein vergleichsweise inertes Abgas erhält, so dass die  $\text{NH}_3$ -Bildung im nachfolgenden dritten Betriebsmodus nicht durch überschüssigen Sauerstoff behindert wird.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist dem SCR-Katalysator ein Partikelfilter vorgeschaltet. Damit umfasst die Abgasreinigungswirkung der Abgasreinigungsanlage neben der Stickoxidverminderung auch eine Partikelverminderung, was insbesondere bei einer als Dieselmotor ausgebildeten Brenn-

kraftmaschine vorteilhaft ist. Der Partikelfilter kann unmittelbar vor dem SCR-Katalysator angeordnet sein oder auch dem Stickoxid-Speicherkatalysator vorgeschaltet sein.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Reinigung des Abgases einer Brennkraftmaschine sieht vor, dass einem Stickoxid-Speicherkatalysator in einem ersten Verfahrensschritt Abgas mit einem Überschuss an oxidierenden Bestandteilen zugeführt wird, wobei dem Abgas Stickoxide durch Einlagerung in den Stickoxid-Speicherkatalysator entzogen werden, in einem zweiten Verfahrensschritt Abgas mit einem Überschuss an reduzierenden Bestandteilen zugeführt wird, wobei im Stickoxid-Speicherkatalysator eingelagertes Stickoxid wenigstens teilweise zu  $\text{NH}_3$  reduziert wird und in einem zeitlich nach dem ersten Verfahrensschritt und vor dem zweiten Verfahrensschritt durchgeführten dritten Verfahrensschritt dem Stickoxid-Speicherkatalysator ein Abgas zugeführt wird, welches gegenüber dem ersten Verfahrensschritt einen geringeren Gehalt an oxidierenden Bestandteilen und gegenüber dem zweiten Verfahrensschritt einen geringeren Gehalt an reduzierenden Bestandteilen aufweist. Im dritten Verfahrensschritt werden damit die Zuleitungen zum Stickoxid-Speicherkatalysator und der Stickoxid-Speicherkatalysator selbst mit einem nahezu inerten Abgas gespült und der vergleichsweise große Sauerstoffgehalt des in den Hohlräumen des Katalysators Abgases vermindert. Dadurch verlaufen beim Übergang in den zweiten Verfahrensschritt im Stickoxid-Speicherkatalysator auftretende Reaktionen weniger heftig, und es werden für die  $\text{NH}_3$ -Bildung im zweiten Verfahrensschritt im Stickoxid-Speicherkatalysator günstige Bedingungen voreingestellt.

In Ausgestaltung des Verfahrens wird der dritte Verfahrensschritt frühestens beendet, wenn der Stickoxid-Speicherkatalysator überwiegend von im dritten Verfahrensschritt gelie-



ferten Abgas gefüllt ist. Unter der Füllung des Katalysators ist hierbei die Füllung der in diesem vorhandenen Hohlräume zu verstehen. Dadurch wird sichergestellt, dass die aus dem ersten Verfahrensschritt resultierende Gassäule mit einem vergleichsweise hohen Sauerstoffgehalt aus dem Stickoxid-Speicherkatalysator überwiegend ausgespült wird.

In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens werden bei einem als Parallelanordnung aus einem ersten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement und einem zweiten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement ausgebildeten Stickoxid-Speicherkatalysator das erste Stickoxid-Speicherkatalysatorelement und das zweite Stickoxid-Speicherkatalysatorelement über eine Schaltvorrichtung im Wechsel im ersten Verfahrensschritt oder im zweiten und dritten Verfahrensschritt betrieben. Dadurch wird eine kontinuierliche Betriebsweise der Abgasreinigungsanlage bezüglich der NO<sub>x</sub>-Entfernung durch Einlagerung im Katalysatormaterial des Stickoxid-Speicherkatalysators und durch Reduktion im SCR-Katalysator erreicht.

In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens wird das im zweiten Verfahrensschritt und/oder im dritten Verfahrensschritt dem Stickoxid-Speicherkatalysator zugeführte Abgas wenigstens teilweise von einer als Kraftstoffreformer oder als Brenner ausgebildeten Gaslieferereinheit geliefert. Dadurch kann auf einen sehr starken Wechsel des Luft-Kraftstoffverhältnisses im Betrieb der Brennkraftmaschine verzichtet werden und die Brennkraftmaschine gegebenenfalls konstant mager betrieben werden, weil der Wechsel in der Zusammensetzung des Abgases, welches den Stickoxid-Speicherkatalysator durchströmt, teilweise von der Gaslieferereinheit übernommen wird.

In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens wird im zweiten und im dritten Verfahrensschritt der Sauerstoffgehalt des Abgases

stromauf des Stickoxid-Speicherkatalysators katalytisch vermindert. Hierzu ist vorzugsweise ein oxidationskatalytisch wirksames Katalysatorelement dem Stickoxid-Speicherkatalysator vorgeschaltet. Ein Vorteil bei dieser Ausgestaltung des Verfahrens besteht darin, dass die an diesem Katalysatorelement frei werdende Reaktionswärme zur Erhöhung der Temperatur des nachgeschalteten Stickoxid-Speicherkatalysators genutzt werden kann.

In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens wird über eine Verstellung der Schaltvorrichtung die Temperatur des Stickoxid-Speicherkatalysatorelements nach Maßgabe der Temperaturabhängigkeit seiner Wirksamkeit beeinflusst. Vorzugsweise wird bei mager betriebener Brennkraftmaschine die beispielsweise als Abgasklappe ausgebildete Schaltvorrichtung so betätigt, dass ein vorgegebbarer Anteil des oxidierenden Abgases in den Abgaszweig geleitet wird, in dem das im dritten oder im zweiten Verfahrensschritt betriebene Stickoxid-Speicherkatalysatorelement angeordnet ist. Durch Reaktion von Sauerstoff mit Reduktionsmitteln wird dabei zur Aufheizung der nachgeschalteten Bauteile genutzte Reaktionswärme frei. Somit kann erreicht werden, dass diese Bauteile in einem Temperaturbereich optimaler Wirksamkeit betrieben werden.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen veranschaulicht und werden nachfolgend beschrieben. Dabei zeigen:

Fig. 1 ein schematisches Blockbild einer ersten Ausführungsform einer Brennkraftmaschine mit zugehöriger Abgasreinigungsanlage mit Stickoxid-Speicherkatalysator und SCR-Katalysator,

Fig. 2 ein Diagramm für den zeitlichen Verlauf der Luftzahl  $\lambda_A$  des dem Stickoxidspeicher-Katalysator in verschiedenen Betriebsmodi zugeführten Abgases,

Fig. 3 ein schematisches Blockbild einer zweiten Ausführungsform einer Brennkraftmaschine mit zugehöriger Abgasreinigungsanlage mit Stickoxid-Speicherkatalysator und SCR-Katalysator und

Fig. 4 ein schematisches Blockbild einer dritten Ausführungsform einer Brennkraftmaschine mit zugehöriger Abgasreinigungsanlage mit Stickoxid-Speicherkatalysator und SCR-Katalysator.

In Fig. 1 ist schematisch eine Brennkraftmaschine 1 mit einer Abgasreinigungsanlage dargestellt, welche einen Stickoxid-Speicherkatalysator 4 und einen dem Stickoxid-Speicherkatalysator 4 nachgeschalteten SCR-Katalysator 5 umfasst, welche in einer Abgasleitung 3 der Brennkraftmaschine 1 angeordnet sind. Die Katalysatoren 4, 5 sind vorzugsweise als Wabenkörpermonolithen ausgeführt, die von Kanälen durchzogen sind, durch welches das zugeführte Abgas strömen kann.

Obschon die Brennkraftmaschine 1 auch als magerbetriebsfähiger Ottomotor ausgebildet sein kann, wird im folgenden davon ausgegangen, dass es sich bei der Brennkraftmaschine 1 um einen Dieselmotor handelt. Die Zylinder des Dieselmotors 1 geben hier beispielhaft ihr Abgas über einen gemeinsamen Abgaskrümmern 2 an die Abgasleitung 3 ab. Zweckmäßigerweise sind hier nicht dargestellte Sensoren zur Erfassung der Abgaszusammensetzung und der Temperatur des Abgases sowie der Katalysatoren 4, 5 vorgesehen. Diese können als Signalgeber beispielsweise für die Regelung des Luft-Kraftstoffverhältnisses des in den Zylindern des Dieselmotors 1 verbrannten Luft-Kraftstoffgemisches dienen. Zur Regelung des Dieselmotors

tors 1 ist dabei ein aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestelltes Motorsteuergerät vorgesehen. Selbstverständlich können weitere hier nicht dargestellte Bauteile, wie beispielsweise ein Abgasturbolader oder eine Abgasrückführung dem Dieselmotor 1 zugeordnet sein. Vorzugsweise kann der Dieselmotor 1 so angesteuert werden, dass er mit wechselnden Luftzahlen  $\lambda_M$  betrieben werden kann. Dabei wird unter der Luftzahl  $\lambda_M$  wie üblich das Stöchiometrieverhältnis der den Zylindern des Dieselmotors zugeführten Verbrennungsluft und des Kraftstoffs verstanden.  $\lambda$ -Werte größer als eins entsprechen einem mageren und  $\lambda$ -Werte kleiner als eins einem fetten Betrieb des Dieselmotors. Entsprechend resultiert aus einem mageren Motorbetrieb ein mageres Abgas mit einem Überschuss an oxidierend wirkenden Bestandteilen wie insbesondere Sauerstoff und bei einem fetten Motorbetrieb eine fettes Abgas mit einem Überschuss an reduzierenden Bestandteilen wie beispielsweise Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen. Die Abgaszusammensetzung wird nachfolgend analog zur oben genannten Definition durch die Luftzahl  $\lambda_A$  charakterisiert.

Der Stickoxid-Speicherkatalysator 4 verfügt über die Fähigkeit, unter oxidierenden Bedingungen im Abgas vorhandenes NOx, hauptsächlich durch chemische Bindung als Nitrat an das Beschichtungsmaterial, einzulagern. Während dieser nachfolgend als erster Betriebsmodus bezeichneten Betriebsart tritt eine zunehmende Sättigung ein, weshalb der Stickoxid-Speicherkatalysator von Zeit zu Zeit in einer sogenannten Nitratregeneration wieder regeneriert werden muss. Dabei wird unter reduzierenden Bedingungen eingelagertes NOx wieder freigesetzt und zum größten Teil in Stickstoff und NH<sub>3</sub> umgesetzt. Nachfolgend werden die dabei eingestellten Betriebsbedingungen zusammenfassend als zweiter Betriebsmodus bezeichnet. Um die NOx-Reinigungswirkung des Stickoxid-Speicherkatalysators 4 nutzen zu können, ist daher ein ständiger Wechsel zwischen dem ersten Betriebsmodus mit einer oxidierenden Abgaszusammensetzung mit einer Luftzahl  $\lambda_A$  größer als eins und dem

zweiten Betriebsmodus mit einer Luftzahl  $\lambda_a$  kleiner als eins notwendig. Aus Gründen des Kraftstoffverbrauchs ist allerdings ein hoher Zeitanteil des mageren Betriebs anzustreben. Entsprechend ist ein vergleichsweise niedriger Zeitanteil für die Bereitstellung einer reduzierenden Abgaszusammensetzung und hierfür ein geringer Einsatz an Reduktionsmitteln wünschenswert. Die oxidierende Abgaszusammensetzung im ersten Betriebsmodus wird dabei bei dem normalen mageren Betrieb des Dieselmotors 1 zwangsläufig erreicht. Die Versorgung des Stickoxid-Speicherkatalysators 4 mit reduzierendem Abgas im zweiten Betriebsmodus kann mittels eines fetten Betriebs des Dieselmotors 1 oder durch eine nachmotorische Anfettung des Abgases erreicht werden, wie weiter unten erläutert wird.

Der stromab des Stickoxid-Speicherkatalysators 4 angeordnete SCR-Katalysator 5 besitzt die z.B. auch aus der Kraftwerkstechnik her bekannte Eigenschaft, bei reduzierenden Bedingungen  $\text{NH}_3$  einspeichern zu können und bei oxidierenden Bedingungen dieses eingespeicherte  $\text{NH}_3$  sowie ev. zugeführtes  $\text{NH}_3$  als Reaktionspartner in einer selektiven katalytischen Reduktionsreaktion unter Stickstoffbildung zur chemischen Reduktion von  $\text{NO}_x$  nutzen zu können.

Die letztgenannte Eigenschaft wird insbesondere dazu genutzt, dem SCR-Katalysator 5 zugeführtes  $\text{NO}_x$  unschädlich zu machen. Der SCR-Katalysator 5 erhält  $\text{NO}_x$  in der Anordnung nach Fig. 1 beispielsweise durch zunehmenden  $\text{NO}_x$ -Schlupf infolge der im Verlauf der  $\text{NO}_x$ -Einlagerung zunehmenden Abnahme der  $\text{NO}_x$ -Aufnahmekapazität des Stickoxid-Speicherkatalysators 4 bei Mager-Betrieb des Dieselmotors. Außerdem kann es insbesondere zu Beginn der Nitratregeneration zu einem Durchbruch von schlagartig freigesetzten Stickoxiden kommen. Voraussetzung für eine hohe Wirksamkeit des SCR-Katalysators 5 ist allerdings, dass ihm zuvor entsprechende Mengen an  $\text{NH}_3$  zur Einspeicherung zur Verfügung gestellt wurden. Da in der Anordnung gemäß Fig. 1 der Stickoxid-Speicherkatalysator 4

die einzige  $\text{NH}_3$ -Quelle darstellt, ist es vorteilhaft, das im Stickoxid-Speicherkatalysator 4 eingelagerte  $\text{NO}_x$  mit einem möglichst großen Wirkungsgrad zu  $\text{NH}_3$  zu reduzieren und dem nachgeschalteten SCR-Katalysator 5 zuzuführen. Dabei ist ein möglichst geringer Verbrauch an Reduktionsmitteln anzustreben.

Erfindungsgemäß wird eine Behinderung der  $\text{NH}_3$ -Bildung vermieden indem vor der Einstellung reduzierender Verhältnisse im Stickoxid-Speicherkatalysator 4 der Sauerstoffgehalt des in den Hohlräumen des Stickoxid-Speicherkatalysators 4 vorhandenen Abgases vermindert wird. Dies wird erreicht, indem zeitlich nach dem ersten Betriebsmodus und vor dem zweiten Betriebsmodus ein dritter Betriebsmodus eingestellt wird, bei welchem dem Stickoxid-Speicherkatalysator 4 ein Abgas zugeführt wird, welches im Vergleich zum ersten Betriebsmodus einen verminderten Sauerstoffgehalt und Vergleich zum zweiten Betriebsmodus einen verminderten Reduktionsmittelgehalt aufweist.

Nachfolgend werden unter Bezug auf Fig. 2 die in den Betriebsmodi eingestellten Bedingungen und die nacheinander ablaufenden Verfahrensschritte näher erläutert, wobei zusätzlich auf Fig. 1 Bezug genommen wird. Im Diagramm der Fig. 2 ist schematisch ein bevorzugter zeitlicher Verlauf der Luftzahl  $\lambda_A$  des dem Stickoxidspeicher-Katalysator in den verschiedenen Betriebsmodi zugeführten Abgases dargestellt. In einem ersten Verfahrensschritt wird zunächst der erste Betriebsmodus I eingestellt, bei dem welchem dem Stickoxid-Speicherkatalysator 4 ein mageres Abgas mit einem hohen Sauerstoffgehalt zugeführt wird. Dieses wird durch den mit einer Luftzahl von beispielsweise  $\lambda_M = 3$  betriebenen Dieselmotor 1 geliefert. Vom Dieselmotor 1 emittiertes und im Abgas enthaltenes  $\text{NO}_x$  wird dabei wenigstens teilweise in das Katalysator-

material des Stickoxid-Speicherkatalysators 4, vorzugsweise in Form von Nitraten, eingelagert und so wenigstens teilweise aus dem Abgas entfernt. Gegebenenfalls durch den Stickoxid-Speicherkatalysator 4 tretendes NO<sub>x</sub> (NO<sub>x</sub>-Schlupf) wird durch Reduktion im nachgeschalteten SCR-Katalysator 5 wenigstens teilweise unschädlich gemacht.

Wird mit zunehmender NO<sub>x</sub>-Sättigung des Stickoxid-Speicherkatalysators 4 beispielsweise sensorisch ein auf inakzeptable Werte angestiegener NO<sub>x</sub>-Schlupf festgestellt, so wird zum Zeitpunkt t<sub>0</sub> auf den dritten Betriebsmodus III umgestellt. Dabei wird dem Stickoxid-Speicherkatalysator 4 ein Abgas mit einem gegenüber dem ersten Betriebsmodus I stark verringerten Sauerstoffgehalt zugeführt. Dies wird vorzugsweise durch Umstellung des Dieselmotorbetriebs auf eine geringfügig über 1,0 liegende Luftzahl  $\lambda_M$ , etwa  $\lambda_M = 1,05$ , erreicht. Hierzu ist es vorteilhaft, in einem oder mehreren Zylindern des Dieselmotors 1 eine Nacheinspritzung von Kraftstoff vorzunehmen, welche vorzugsweise im Expansionstakt zwischen etwa 20° und 120° Kurbelwinkel nach dem oberen Totpunkt oder im Ausschietakt vorgenommen wird. Zusätzlich kann eine zuluftseitige Androsselung des Dieselmotors 1 und/oder eine Erhöhung der Abgasrückführrate vorteilhaft sein. Unter diesen Bedingungen weist das dem Stickoxid-Speicherkatalysator 4 zugeführte Abgas einen Sauerstoffüberschuss von einem Prozent oder weniger auf und wirkt schwach oxidierend.

Während dieses Verfahrensschrittes wird das stark sauerstoffhaltige Abgas des zuvor eingestellten ersten Betriebsmodus I aus den Hohlräumen des Stickoxid-Speicherkatalysators 4 gespült. Wegen des geringfügigen Sauerstoffüberschusses im Abgas erfolgt im Stickoxid-Speicherkatalysator 4 noch keine oder keine nennenswerte Reduktion eingelagerter Stickoxide. Der eingestellte dritte Betriebsmodus III wird vorzugsweise

zu einem Zeitpunkt  $t_1$  beendet, an dem der Spülvorgang abgeschlossen ist und die Hohlräume des Stickoxid-Speicherkatalysators 4 überwiegend mit dem im dritten Betriebsmodus III bereitgestellten sauerstoffarmen und reduktionsmittelarmen Abgas gefüllt sind.

Anschließend wird zum Zeitpunkt  $t_1$  in einem weiteren Verfahrensschritt auf den zweiten Betriebsmodus II umgestellt und dem Stickoxid-Speicherkatalysator 4 ein reduzierendes Abgas mit einer Luftzahl  $\lambda_A$  vorzugsweise zwischen 0,80 und 0,95 zugeführt, wobei die Nitrat-Regeneration des Stickoxid-Speicherkatalysators 4 erfolgt. Dabei wird das im Stickoxid-Speicherkatalysator 4 eingelagerte  $\text{NO}_x$  zu einem vergleichsweise großen Teil zu  $\text{NH}_3$  reduziert und dem nachfolgenden SCR-Katalysator 5 zugeführt und dort eingelagert.

Für die Bereitstellung des reduktionsmittelhaltigen Abgases im zweiten Betriebsmodus II kann eine entsprechende Verminderung der Luftzahl  $\lambda_M$  des dem Dieselmotor 1 insgesamt zugeführten Luft-Kraftstoffgemisches vorgesehen sein. Der Dieselmotor 1 wird in diesem Fall insgesamt entsprechend fett mit einer Luftzahl  $\lambda_M$  betrieben, die der Luftzahl  $\lambda_A$  des Abgases entspricht. Hierfür kann, wie oben beschrieben, ebenfalls eine Nacheinspritzung von Kraftstoff und gegebenenfalls gleichzeitig eine luftzufuhrseitige Androsselung vorgenommen werden. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, die Anreicherung des dem Stickoxid-Speicherkatalysator 4 zugeführten Abgases mit Reduktionsmitteln so vorzunehmen, dass nur ein vorgegebbarer Teil der Zylinder des Dieselmotors 1 fett betrieben werden und der andere Teil der Zylinder weiterhin mit der im vorangegangenen dritten Betriebsmodus III eingestellten Luftzahl.



Ferner kann für die Anreicherung des dem Stickoxid-Speicher-katalysator 4 zugeführten Abgases mit Reduktionsmitteln eine in Fig. 1 nicht dargestellte separate Gaslieferereinheit vorgesehen sein. Diese kann beispielsweise als Kraftstoffreformer oder Kraftstoffbrenner ausgeführt sein. Das von der Gaslieferereinheit gelieferte Gas wird in diesem Fall stromauf des Stickoxid-Speicherkatalysators 4 der Abgasleitung 3 zugeführt. Es kann schließlich ebenfalls vorteilhaft sein, für die Anfettung des Abgases ein an Bord des Fahrzeugs vorhandenes Reduktionsmittel, beispielsweise den Dieseldieselkraftstoff, stromauf des Stickoxid-Speicherkatalysators 4 in das Abgas einzubringen. Durch die nachmotorisch vorgenommene Anfettung des Abgases kann ein oft schwierig einzustellender Betrieb des Dieselmotors 1 mit einer Luftzahl von  $\lambda_M$  kleiner als 1,0 vermieden werden.

Der zweite Betriebsmodus II wird zum Zeitpunkt  $t_2$  beendet und in einem weiteren Verfahrensschritt werden wieder die Bedingungen des ersten Betriebsmodus I eingestellt, wenn die Nitratregeneration des Stickoxid-Speicherkatalysators 4 abgeschlossen ist. Dies kann sensorisch oder durch ein entsprechendes Rechenmodell festgestellt bzw. initiiert werden.

Die Reinigungswirkung der Abgasreinigungsanlage lässt sich im Zusammenhang mit den erläuterten Verfahrensschritten weiter verbessern, wenn stromauf des Stickoxid-Speicherkatalysators 4 ein in Fig. 1 nicht dargestelltes oxidationskatalytisch wirksames Katalysatorelement in der Abgasleitung 3 angeordnet wird. Durch dieses können Sauerstoffanteile bzw. Reduktionsmittelanteile im Abgas wirksam vermindert bzw. entfernt werden. Das dabei aus dem Katalysatorelement ausströmende Abgas kann somit als vergleichsweise inert angesehen werden, da es einen verminderten Gehalt an reaktionsfreudigen Bestandteilen aufweist. Zusätzlich kann dadurch eine Aufheizung des Abgases

und stromab angeordneter Bauteile erreicht werden. Vorteilhaft ist dies insbesondere im Zusammenhang mit einem in Fig. 1 nicht dargestellten Partikelfilter, welcher zweckmäßigerweise stromauf des SCR-Katalysators 5 in der Abgasleitung 3 angeordnet sein kann. Hierfür wird beispielsweise vom Dieselmotor 1 ein sauerstoffhaltiges Gas bereitgestellt, welches zusätzlich motorisch durch Nacheinspritzungen oder mittels der erwähnten Gaslieferereinheit oder durch Einbringung von flüssigem oder verdampftem Kraftstoff in den Abgasstrang mit Reduktionsmitteln angereichert wird. Auf diese Weise wird für das Ablaufen exothermer Oxidationsreaktionen am oxidationskatalytisch wirksamen Katalysatorelement gesorgt. Mit der dabei frei werdenden Reaktionswärme können nachgeschaltete reinigungswirksame Bauelemente im Abgasstrang 3 sehr effektiv auf Betriebstemperatur gebracht werden.

In Fig. 3 ist ein schematisches Blockbild einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine mit zugehöriger Abgasreinigungsanlage mit Stickoxid-Speicher-katalysator und SCR-Katalysator dargestellt, wobei in Bezug auf Fig. 1 funktionsmäßig gleiche Bauteile mit gleichen Bezugszeichen versehen sind. Die in Fig. 3 dargestellte Ausführungsform unterscheidet sich von derjenigen der Fig. 1 dadurch, dass der Stickoxid-Speicher-katalysator 4 als Parallelanordnung aus einem ersten Stickoxid-Speicher-katalysatorelement 4a und einem zweiten Stickoxid-Speicher-katalysatorelement 4b ausgebildet ist. Ferner ist eine Schaltvorrichtung 6 vorgesehen, welche es erlaubt, den ihr durch die Abgasleitung 3 zugeführten Abgasstrom wahlweise über die Abgasleitungszweige 3a und 3b auf die Stickoxid-Speicher-katalysatorelemente 4a, 4b zu verteilen. Vorzugsweise ist die Schaltvorrichtung 6 als Wechselklappe so ausgeführt, dass das Abgas im wesentlichen entweder dem ersten Stickoxid-Speicher-katalysatorelement 4a oder dem zweiten Stickoxid-Speicher-katalysatorelement 4b zufließen kann.

element 4b zuführbar ist. Die Abgasleitungszweige 3a, 3b sind ausgangsseitig der Stickoxid-Speicherkatalysatorelemente 4a, 4b zusammengeführt, so dass das aus den Stickoxid-Speicherkatalysatorelementen 4a, 4b ausströmende Abgas dem SCR-Katalysator 5 zuführbar ist. Zusätzlich ist in der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform eine Gasliefereinheit 8 vorgesehen, durch welche ein zusätzliches Fluid über die Schaltvorrichtung 6 wahlweise dem ersten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a und/oder dem zweiten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4b zuführbar ist. Der Gasliefereinheit 6 zugeordnete periphere Versorgungsbauteile wie Leitungen und dergleichen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt, sind jedoch je nach Bedarf vorgesehen. Die Gasliefereinheit 6 kann beispielsweise als Dosiereinheit und/oder Verdampfer für ein an Bord eines zugehörigen Fahrzeugs vorhandenes flüssiges Reduktionsmittel ausgeführt sein. Vorzugsweise ist sie jedoch als Kraftstoffbrenner oder als Kraftstoffreformer ausgeführt, mit welchem ein an Bord des zugehörigen Fahrzeugs verfügbarer Kraftstoff verbrannt oder durch einen Reforming-Prozess zu einem Gas aufbereitet werden kann. Nachfolgend wird vereinfachend von einem Kraftstoff-reformer 6 gesprochen.

Es ist vorgesehen, dass der Kraftstoffreformer 6 mit einer in weiten Grenzen variierenden Luftzahl  $\lambda_R$  betreibbar ist. Bevorzugte Betriebsarten sind dabei ein Betrieb mit einem geringem Luftüberschuss, d.h. mit einer Luftzahl von etwa  $\lambda_R = 1,05$  oder weniger und ein Betrieb mit einem vergleichsweise großen Kraftstoffüberschuss, entsprechend etwa  $\lambda_R = 0,5$  oder weniger. Im erstgenannten Fall wird von ihm ein schwach oxidierendes Gas mit einem geringen Sauerstoffgehalt von etwa 0,5 % und im zweiten Fall ein nahezu sauerstofffreies, reduzierendes Gas mit einem vergleichsweise hohem Reduktionsmittelgehalt erzeugt. Vorzugsweise weist das reduzierende Gas

einen hohen Wasserstoffanteil auf, was beispielsweise durch einen katalytisch unterstützten Reformierprozess, gegebenenfalls unter Ausnutzung der Wassergasshiftreaktion, erreicht wird. Nachfolgend wird vereinfachend von einem oxidierenden oder reduzierenden Reformergas gesprochen.

Im folgenden wird unter Bezug auf Fig. 2 eine bevorzugte Betriebsweise der in Fig. 3 dargestellten Anordnung erläutert. Dabei wird zunächst das im Abgaszweig 3a angeordnete erste Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a betrachtet. Dieses wird zunächst im ersten Betriebsmodus I betrieben. Hierzu ist die Schaltvorrichtung 6 so geschaltet, dass das erste Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a überwiegend vom Abgasstrom des mager betriebenen Dieselmotors 1 beaufschlagt wird, wobei es dem Abgas NO<sub>x</sub> durch Einlagerung in das Katalysatormaterial entzieht. Gegebenenfalls als NO<sub>x</sub>-Schlupf durchtretende NO<sub>x</sub>-Restmengen werden hierbei im nachgeschalteten SCR-Katalysator 5 abgebaut. Bei Vorliegen eines vorgebbaren Sättigungszustands des ersten Stickoxid-Speicherkatalysatorelements 4a wird die Schaltvorrichtung 6 umgeschaltet, so dass nunmehr das erste Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a überwiegend vom Abgasstrom des weiterhin mager betriebenen Dieselmotors 1 abgetrennt ist. Gleichzeitig wird das erste Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a vom Kraftstoffreformer 6 über die Schaltvorrichtung 6 mit einem schwach oxidierenden Reformergas versorgt und somit im dritten Betriebsmodus III betrieben. Dabei wird das stark sauerstoffhaltige Gas aus dem zuvor eingestellten ersten Betriebsmodus I aus der Abgasleitung 3a und dem ersten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a ausgespült und überwiegend durch das schwach oxidierende Reformergas ersetzt.

Ist der Spülvorgang abgeschlossen, was nach Zufuhr einer von den vorliegenden Geometrien bestimmten Reformergasmenge der

Fall ist, so wird bei unveränderter Einstellung der Schaltvorrichtung 6 das erste Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a mit reduzierendem, sauerstofffreien Reformergas beaufschlagt und somit im zweiten Betriebsmodus II betrieben. Dadurch wird die Nitratregeneration des ersten Stickoxid-Speicherkatalysatorelements 4a in Gang gesetzt, wobei aufgrund des vorangegangenen Spülvorgangs ein besonders großer Teil des eingelagerten NO<sub>x</sub> zu NH<sub>3</sub> reduziert wird. Dieses wird dem nachgeschalteten SCR-Katalysator 5 zugeführt und dort eingelagert. Vorteilhaft ist, dass zur Nitratregeneration des vom Abgasstrom des Dieselmotors 1 überwiegend abgesperrten ersten Stickoxid-Speicherkatalysatorelements 4a lediglich ein geringer Reformergasstrom bereitgestellt werden muss. Das reduzierende Reformergas hat daher eine dementsprechend große Aufenthaltsdauer im ersten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a, was die NH<sub>3</sub>-Ausbeute ebenfalls verbessert. Zur weiteren Steigerung der NH<sub>3</sub>-Ausbeute ist es vorteilhaft, wenn das dem ersten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a im zweiten Betriebsmodus II zugeführte Reformergas einen hohen Wasserstoffgehalt aufweist.

Wird festgestellt, dass die Nitratregeneration des ersten Stickoxid-Speicherkatalysatorelements 4a abgeschlossen ist, was sensorisch oder modellbasiert geschehen kann, so wird die Schaltvorrichtung 6 zurückgeschaltet, so dass das vom Dieselmotor 1 abgegebene magere Abgas erneut hauptsächlich über das erste Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a geführt wird.

Zeitversetzt und komplementär zu den für das erste Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a eingestellten Betriebsmodi I, II, III wird das zweite Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4b betrieben. Bei einer Einstellung des ersten Betriebsmodus I für das erste Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a wird somit das zweite Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4b im

zweiten Betriebsmodus II oder im dritten Betriebsmodus III betrieben. Dabei laufen die oben erläuterten Vorgänge in analoger Form ab.

In Fig. 4 ist ein schematisches Blockbild einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine mit zugehöriger Abgasreinigungsanlage mit Stickoxid-Speicherkatalysator und SCR-Katalysator dargestellt, wobei in Bezug auf Fig. 3 funktionsmäßig gleiche Bauteile mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind. Die in Fig. 4 dargestellte Ausführungsform unterscheidet sich von derjenigen der Fig. 3 dadurch, dass im Abgasleitungszweig 3a dem ersten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a ein erstes Oxidationskatalysatorelement 7a und im Abgasleitungszweig 3b dem zweiten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4b ein zweites Oxidationskatalysatorelement 7b vorgeschaltet ist.

Die in Fig. 4 dargestellte Ausführungsform ist prinzipiell ebenso betreibbar wie die in Fig. 3 dargestellte. Allerdings sind einige zusätzliche Möglichkeiten gegeben. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird nachfolgend lediglich auf die gegenüber der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform vorhandenen Unterschiede eingegangen. Im wesentlichen sind diese Unterschiede durch die Oxidationskatalysatorelemente 7a, 7b bedingt. Diese sind in der Lage, den Sauerstoffgehalt des ihnen zugeführten Abgases entsprechend dem im Abgas vorhandenen Reduktionsmittel zu vermindern. Somit kann insbesondere bei einem im dritten Betriebsmodus III betriebenen Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a, 4b vermieden werden, dass ihm durch eine apparatebedingte oder gezielt eingestellte Leckage der Schaltvorrichtung 6 sauerstoffhaltiges Abgas vom mager betriebenen Dieselmotor 1 zugeführt wird. Hierzu wird dem jeweiligen Abgaszweig 3a, 3b vom Kraftstoffreformer 6 reduzierendes Reformergas zugeführt. Vorzugsweise wird der Kraft-

stoffreformer so betrieben, dass die von ihm über die Schaltvorrichtung 6 dem jeweiligen Abgaszweig 3a, 3b zugeführte Reduktionsmittelmenge ausreicht, um den über die Schaltvorrichtung 6 in diesen Abgaszweig einströmenden Sauerstoff aus dem Abgas zu entfernen. Dadurch wird wie oben beschrieben für die  $\text{NH}_3$ -Bildung störender Sauerstoff aus dem entsprechenden Abgasleitungszweig 3a, 3b bzw. dem Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a, 4b ausgespült bzw. dessen Eindringen vermieden: Der Reformier wird dabei so betrieben, dass sich die dem dritten Betriebsmodus III bzw. dem zweiten Betriebsmodus II entsprechende Luftzahl  $\lambda_A$  gemäß Fig. 2 eingangsseitig des jeweiligen Stickoxid-Speicherkatalysatorelements 4a, 4b einstellt. Um den Reduktionsmittelbedarf gering zu halten, ist es vorteilhaft, für die Oxidationskatalysatorelemente 7a, 7b eine katalytische Beschichtung mit geringer oder keiner Sauerstoffspeicherfunktion vorzusehen.

Die an dem jeweiligen Oxidationskatalysatorelement 7a, 7b bei der dort stattfindenden Oxidation von Reduktionsmittel frei werdende Reaktionswärme lässt sich mit Vorteil für ein Wärmemanagement des nachgeschalteten Stickoxid-Speicherkatalysatorelements 4a, 4b nutzen. Hierfür ist es zweckmäßig, die Schaltvorrichtung stufenlos verstellbar auszuführen. Auf diese Weise können vorgebbare Mengen des vom mager betriebenen Dieselmotor 1 abgegebenen Abgases in den Abgasleitungszweig 3a, 3b des im zweiten Betriebsmodus II oder im dritten Betriebsmodus III betriebenen Stickoxid-Speicherkatalysatorelements 4a, 4b geleitet werden. Mit der im Oxidationskatalysatorelement 7a, 7b frei werdenden Reaktionswärme kann dadurch das jeweilige Stickoxid-Speicherkatalysatorelement 4a, 4b auf optimale Betriebstemperatur aufgeheizt werden. Insbesondere ist dadurch auch eine verstärkte Aufheizung möglich, beispielsweise zur Durchführung einer Schwefelregeneration.

Es kann ferner vorteilhaft sein, anstelle des Reformers 8 für jeden der Abgasleitungszweige 3a, 3b eine als Kraftstoffdosiereinrichtung ausgebildete Gasliefereinrichtung vorzusehen, durch welche flüssiger oder verdampfter Kraftstoff eingangsseitig der Oxidationskatalysatorelemente 7a, 7b dem Abgas zuführbar ist. Durch eine mengenmäßig gesteuerte oder geregelte Zufuhr von Kraftstoff im Zusammenhang mit einer entsprechend eingestellten Zufuhr von magerem Abgas über die Schaltvorrichtung 6 können die für die einzelnen Betriebsmodi I, II, III erforderlichen Bedingungen in den Abgasleitungszweigen 3a, 3b eingestellt werden.



Patentansprüche

1. Brennkraftmaschine (1) mit einer Abgasreinigungsanlage, umfassend einen Stickoxid-Speicherkatalysator (4; 4a, 4b) und einen dem Stickoxid-Speicherkatalysator (4; 4a, 4b) nachgeschalteten SCR-Katalysator (5), wobei dem Stickoxid-Speicherkatalysator (4; 4a, 4b)
  - in einem ersten Betriebsmodus (I) Abgas mit einem Überschuss an oxidierenden Bestandteilen zuführbar ist, wobei der Stickoxid-Speicherkatalysator (4; 4a, 4b) Stickoxide durch Einlagerung aus dem Abgas entfernt,
  - in einem zweiten Betriebsmodus (II) Abgas mit einem Überschuss an reduzierenden Bestandteilen zuführbar ist, wobei im Stickoxid-Speicherkatalysator (4; 4a, 4b) gespeichertes Stickoxid wenigstens teilweise zu Ammoniak reduziert wird und
  - in einem zeitlich nach dem ersten Betriebsmodus (I) und vor dem zweiten Betriebsmodus (II) eingestellten dritten Betriebsmodus (III) ein Abgas zuführbar ist, welches gegenüber dem ersten Betriebsmodus (I) einen geringeren Gehalt an oxidierenden Bestandteilen und gegenüber dem zweiten Betriebsmodus (II) einen geringeren Gehalt an reduzierenden Bestandteilen aufweist.

2. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass der Stickoxid-Speicherkatalysator (4; 4a, 4b) als  
Anordnung aus einem ersten Stickoxid-Speicherkatalysa-  
torelement (4a) und einem dem ersten Stickoxid-Speicher-  
katalysatorelement (4a) strömungsmäßig parallel geschal-  
teten zweiten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement (4b)  
ausgebildet ist.
3. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass das erste Stickoxid-Speicherkatalysatorelement (4a)  
und das zweite Stickoxid-Speicherkatalysatorelement (4b)  
wechselweise entweder im ersten Betriebsmodus (I) oder im  
zweiten Betriebsmodus (II) und dritten Betriebsmodus  
(III) betreibbar sind.
4. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 2 oder 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass eine Schaltvorrichtung (6) derart vorgesehen ist,  
dass das im zweiten Betriebsmodus (II) und/oder im drit-  
ten Betriebsmodus (III) betriebene Stickoxid-Speicherka-  
talsatorelement (4a; 4b) wenigstens teilweise von dem  
von der Brennkraftmaschine (1) abgegebenen Abgasstrom  
abtrennbar ist.
5. Abgasreinigungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass eine Gaslieferereinrichtung (8) derart vorgesehen ist,  
dass der im zweiten Betriebsmodus (II) und/oder im drit-  
ten Betriebsmodus (III) betriebene Stickoxid-Speicherka-  
talsator (4a; 4b) von einem von der Gaslieferereinrichtung  
(8) gelieferten Gasstrom beaufschlagbar ist.

6. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 5,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass von der Gaslieferereinrichtung (8) ein sauerstoffarmer Gasstrom lieferbar ist.
7. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 5 oder 6,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Gaslieferereinrichtung (8) als Kraftstoffreformer oder als Brenner ausgebildet ist.
8. Abgasreinigungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass dem Stickoxid-Speicherkatalysator (4a, 4b) ein oxidationskatalytisch wirksames Katalysatorelement (7a, 7b) vorgeschaltet ist.
9. Abgasreinigungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass dem SCR-Katalysator (5) ein Partikelfilter vorgeschaltet ist.
10. Verfahren zur Reinigung des Abgases einer Brennkraftmaschine (1) mit einer Abgasreinigungsanlage, umfassend einen Stickoxid-Speicherkatalysator (4; 4a, 4b) und einen dem Stickoxid-Speicherkatalysator (4; 4a, 4b) nachgeschalteten SCR-Katalysator (5), wobei dem Stickoxid-Speicherkatalysator (4; 4a, 4b)
  - in einem ersten Verfahrensschritt Abgas mit einem Überschuss an oxidierenden Bestandteilen zugeführt wird, wobei dem Abgas Stickoxide durch Einlagerung in den Stickoxid-Speicherkatalysator (4; 4a, 4b) entzogen werden,
  - in einem zweiten Verfahrensschritt Abgas mit einem Überschuss an reduzierenden Bestandteilen zugeführt

wird, wobei im Stickoxid-Speicherkatalysator (4; 4a, 4b) eingelagertes Stickoxid wenigstens teilweise zu  $\text{NH}_3$  reduziert wird und

- in einem zeitlich nach dem ersten Verfahrensschritt und vor dem zweiten Verfahrensschritt durchgeführten dritten Verfahrensschritt dem Stickoxid-Speicherkatalysator (4; 4a, 4b) ein Abgas zugeführt wird, welches gegenüber dem ersten Verfahrensschritt einen geringeren Gehalt an oxidierenden Bestandteilen und gegenüber dem zweiten Verfahrensschritt einen geringeren Gehalt an reduzierenden Bestandteilen aufweist.

11. Verfahren nach Anspruch 10,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass der dritte Verfahrensschritt frühestens beendet wird, wenn der Stickoxid-Speicherkatalysator (4; 4a, 4b) überwiegend von im dritten Verfahrensschritt geliefertem Abgas gefüllt ist.

12. Verfahren nach Ansprüchen 10 oder 11,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass bei einem als Parallelanordnung aus einem ersten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement (4a) und einem zweiten Stickoxid-Speicherkatalysatorelement (4b) ausgebildeten Stickoxid-Speicherkatalysator das erste Stickoxid-Speicherkatalysatorelement (4a) und das zweite Stickoxid-Speicherkatalysatorelement (4b) über eine Schaltvorrichtung (6) im Wechsel im ersten Verfahrensschritt oder im zweiten und dritten Verfahrensschritt betrieben werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass das im zweiten Verfahrensschritt und/oder im dritten Verfahrensschritt dem Stickoxid-Speicherkatalysator (4;

4a, 4b) zugeführte Abgas wenigstens teilweise von einer als Kraftstoffreformer oder als Brenner ausgebildeten Gaslieferereinheit (8) geliefert wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13,  
d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass im zweiten und im dritten Verfahrensschritt der Sauerstoffgehalt des Abgases stromauf des Stickoxid-Speicherkatalysators (4; 4a, 4b) katalytisch vermindert wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 14,  
d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass über eine Verstellung der Schaltvorrichtung (6) die Temperatur des Stickoxid-Speicherkatalysatorelements (4a, 4b) nach Maßgabe der Temperaturabhängigkeit seiner Wirksamkeit beeinflusst wird.

1/2

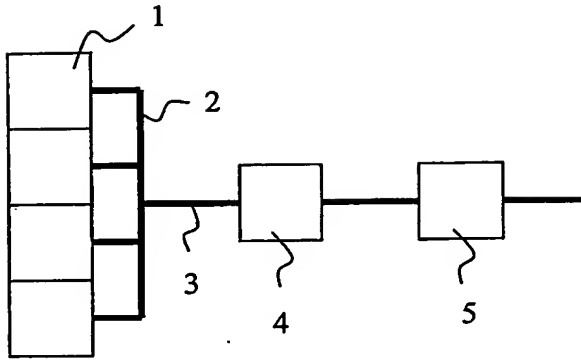


Fig. 1

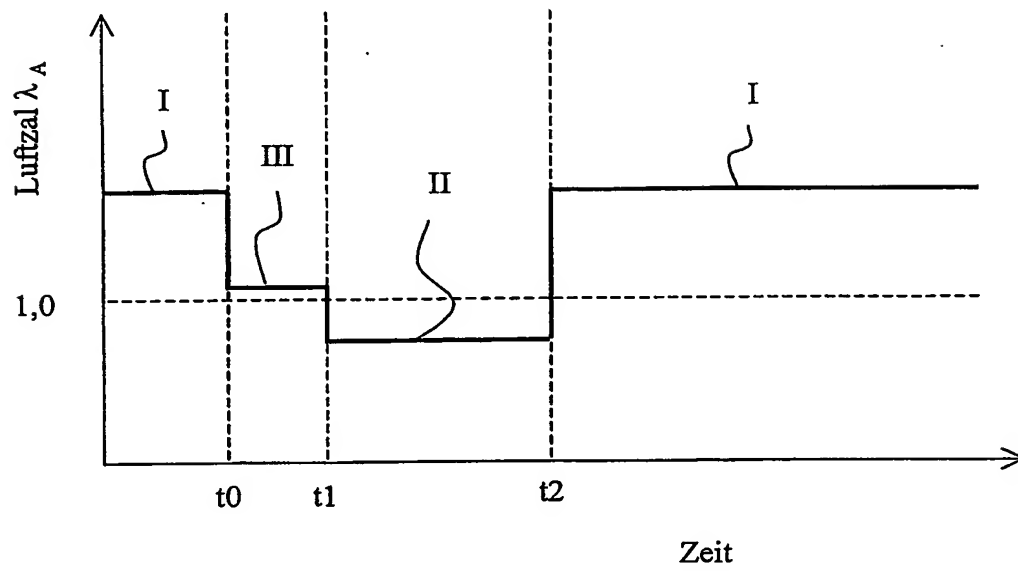


Fig. 2

2/2

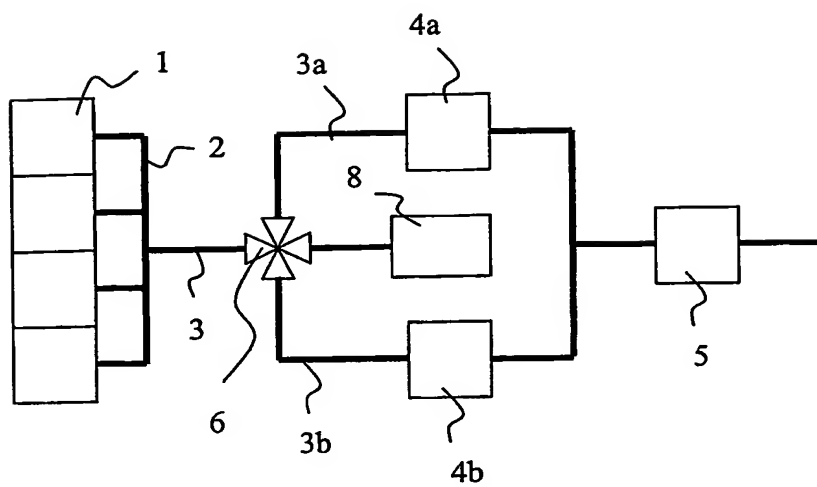


Fig. 3

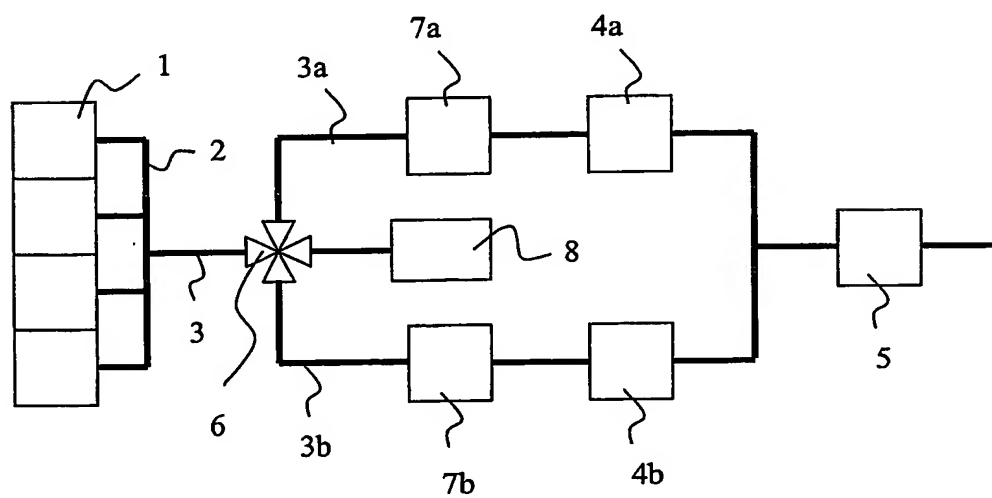


Fig. 4